



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09017717 A**(43) Date of publication of application: **17.01.97**

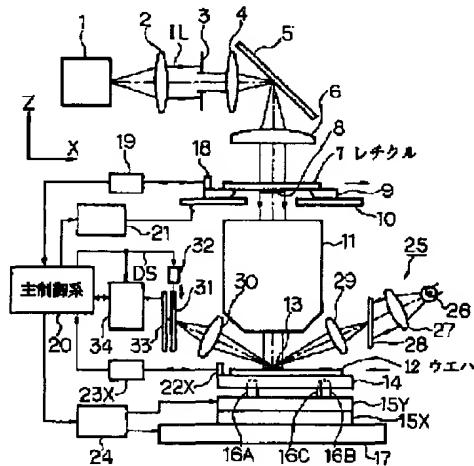
(51) Int. Cl. **H01L 21/027**
G03F 7/20
G03F 9/00

(21) Application number: **07166728**(71) Applicant: **NIKON CORP**(22) Date of filing: **03.07.95**(72) Inventor: **MIYAJI TAKASHI**(54) **ALIGNER**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce pull-in time when starting focusing, for example, after passing a region which originally is not to be focus-controlled on the surface of a wafer and a region where irregularities exist.

SOLUTION: A reticle 7 and a wafer 12 are scanned in synchronization for a projection optical system 11, the inclination angle and height of a Z tilt stage 14 where the wafer 12 is retained are controlled via actuators 16A-16C for focusing, and exposure is made by a scanning exposure system. The inclination angle and focusing position on the surface of the wafer 12 are measured by a multiple-point AF sensor 25 and the inclination angle and height of the bottom surface of the Z tilt stage 14 are obtained by processing the measurement value of an encoder being provided at the actuators 16A-16C. Focusing control is made based on the ideal surface of the wafer 12 obtained from the inclination angle and height of the Z tilt stage 14 at a region where no detection result of the multiple-point AF sensor 25 is used.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-17717

(43) 公開日 平成9年(1997)1月17日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 2 6 B
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
9/00			9/00	H

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-166728

(22) 出願日 平成7年(1995)7月3日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 宮地 敬

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

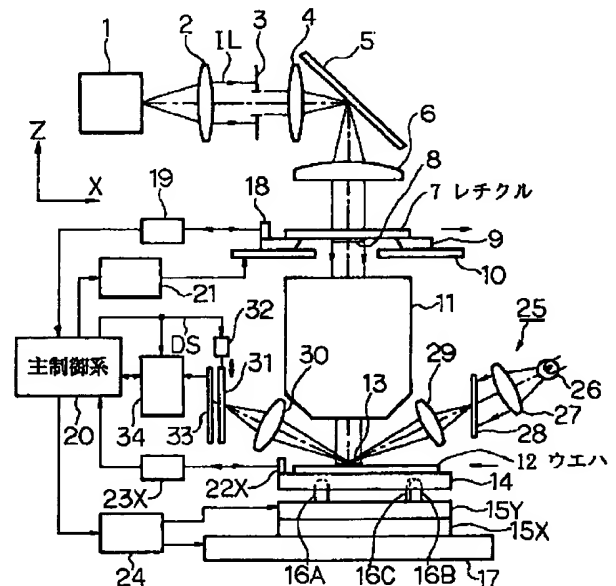
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 ウエハの表面の本来合焦の制御対象とされない領域で且つ凹凸が存在する領域を通過した後等に、合焦を開始する際の引き込み時間を短縮する。

【解決手段】 レチクル7及びウエハ12を投影光学系11に対して同期して走査し、ウエハ12が保持されるZチルトステージ14の傾斜角及び高さをアクチュエータ16A～16Cを介して制御して合焦を行いつつ、走査露光方式で露光を行う。ウエハ12の表面の傾斜角及び焦点位置を多点AFセンサ25で計測し、Zチルトステージ14の底面の傾斜角及び高さを、アクチュエータ16A～16Cに設けられたエンコーダの計測値を処理して求める。多点AFセンサ25の検出結果を使用しない領域では、Zチルトステージ14の傾斜角及び高さから求められるウエハ12の仮想的な面に基づいて合焦制御を行う。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスク上のパターンを感光性の基板上に投影する投影光学系と、前記基板を前記投影光学系の像面側で移動する基板ステージとを有し、該基板ステージで位置決めされた前記基板上に前記マスクのパターンの像を投影する露光装置において、
前記基板の前記投影光学系の光軸方向の焦点位置を検出する基板用焦点位置検出センサと、
前記基板ステージの前記投影光学系の光軸方向の高さを検出するステージ用焦点位置検出センサと、
前記基板用焦点位置検出センサにより検出された第 1 の焦点位置、及び前記ステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さに基づいて定められる第 2 の焦点位置より、前記基板の表面状態に応じて 1 つの焦点位置を選択する焦点位置切り換え手段と、
該焦点位置切り換え手段により選択された焦点位置に応じて前記基板の焦点位置を制御する焦点位置制御手段と、を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 2】 マスク上のパターンの一部の像を感光性の基板上の所定の露光領域に投影する投影光学系と、前記基板を前記投影光学系の像面側で移動する基板ステージとを有し、前記マスク及び前記基板を前記投影光学系に対して同期して走査することにより、前記マスクのパターンの像を前記基板上に逐次転写する走査型の露光装置において、
前記基板の前記投影光学系の光軸方向の焦点位置を検出する基板用焦点位置検出センサと、
前記基板ステージの前記投影光学系の光軸方向の高さを検出するステージ用焦点位置検出センサと、
前記基板の表面の設計データとしての段差情報を記憶する記憶手段と、
前記基板用焦点位置検出センサにより検出された第 1 の焦点位置、及び前記ステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さに基づいて定められる第 2 の焦点位置より、前記記憶手段に記憶されている前記基板の段差情報に応じて 1 つの焦点位置を選択する焦点位置切り換え手段と、
該焦点位置切り換え手段により選択された焦点位置に応じて前記基板の焦点位置を制御する焦点位置制御手段と、を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の露光装置であって、
前記ステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さ、及び所定のモデルに基づいて前記第 2 の焦点位置を予測する演算手段を設けたことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD 等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程で

使用される露光装置に関し、特にマスク及び感光基板を投影光学系に対して同期して走査することによりマスクパターンを感光基板上に逐次転写する所謂ステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介して、感光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラス基板等）上の各ショット領域に投影露光するステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパー等）が使用されている。また、最近では、半導体素子等の 1 つのチップが大型化する傾向にあり、より大面積のパターンをウエハ上に投影露光することが要求されている。そこで、レチクル上の一部のパターンをウエハ上のスリット状の露光領域（以下、「照野フィールド」という）に投影した状態で、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期して走査することにより、投影光学系の有効露光フィールドより広い範囲のショット領域への露光が可能なステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光方式の投影露光装置も開発されている。

【0003】 一般に投影露光装置においては、開口数（N.A.）が大きく焦点深度の浅い投影光学系が使用されるため、微細な回路パターンを高い解像度で転写するためには、ウエハの表面を投影光学系の結像面に合わせ込むための合焦（オートフォーカス）機構が必要である。従来の合焦機構は、ウエハの表面の焦点位置（高さ）を検出するオートフォーカスセンサ（以下、「AF センサ」という）と、その計測値を用いてウエハの焦点位置を制御する Z ステージとから構成されていた。更に通常は、AF センサと並列にウエハの表面の傾斜角を検出するチルトセンサ（レベリングセンサ）を設け、Z ステージに 2 次元的な傾斜角を調整できる所謂チルトステージの機能を持たせることにより、合焦制御と共にウエハの表面を結像面に平行に設定するレベリング制御が行われていた。

【0004】 また、AF センサやチルトセンサは、それぞれウエハの露光対象とするショット領域（走査露光方式ではスリット状の照野フィールド）の表面の焦点位置及び傾斜角を検出するセンサであるため、その検出範囲は通常ほぼそのショット領域（又は照野フィールド）の内部に設定されていた。そのため、従来のシーケンスは、ウエハ上の各ショット領域への露光中のみ合焦及びレベリング制御を行い、次のショット領域への移動の際には一度合焦及びレベリングの制御をオフにして Z ステージ及びチルトステージを固定し、次のショット領域（又は走査開始位置）への位置決めが行われるのと同時に合焦及びレベリング制御を再度開始するようになっていた。これは、次のショット領域（又は走査開始位置）

への移動の経路の全体が必ずしも各センサの検出可能領域に入るとは限らず、その検出可能領域外では合焦又はレベリング制御を継続することが困難であるためである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述のように従来の投影露光装置においては、ショット領域間の移動中には合焦及びレベリングの制御をオフにしていた。しかしながら、このように移動中に合焦及びレベリングの制御をオフにする方式で、例えばウェハの表面がステージの案内面に対して傾いていると、その移動の前後でウェハの表面の焦点位置が大きく変位することになる。この場合、次に露光対象とするショット領域で合焦及びレベリングの制御を開始する際に、デフォーカス量、及び傾斜角のずれ量である引き込み量が大きくなり、それらの量がそれぞれ所定の許容値以内となって安定するまでの整定時間（引き込み時間）が長くなり、結果として露光工程のスループット（単位時間当たりのウェハの処理枚数）が低下するという不都合があった。

【0006】また、特にステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置においては、走査露光中に移動するウェハの表面に対して連続的に合焦及びレベリングが行われる。そのため、ウェハの表面に本来合焦及びレベリングの対象として期待されていない溝状の領域（例えば半導体チップにおけるチップ境界を示す所謂ストリートライン等）が存在した場合に、合焦及びレベリングの動作が乱されて追従精度が悪化したり、整定時間が増加したりするという不都合があった。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、ウェハの表面の本来合焦の制御対象とされない領域で且つ凹凸が存在する領域を通過した後、又はウェハの外部から内部の領域に入った直後等に、合焦を開始する際の焦点位置の偏差量を少なくして、引き込みが完了するまでの引き込み時間（整定時間）を短縮できる露光装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光装置は、例えば図1～図8に示すように、マスク（7）上のパターンを感光性の基板（12）上に投影する投影光学系（11）と、その基板を投影光学系（11）の像面側で移動する基板ステージ（14、15X、15Y、17）とを有し、この基板ステージで位置決めされた基板（12）上にマスク（7）のパターンの像を投影する露光装置において、基板（12）の投影光学系（11）の光軸方向の焦点位置を検出する基板用焦点位置検出センサ（25）と、基板ステージ（14、15X、15Y、17）の投影光学系（11）の光軸方向の高さを検出するステージ用焦点位置検出センサ（43A）と、基板用焦点位置検出センサ（25）により検出された第1の焦点位置、及びステージ用焦点位置検出センサ（43

A）により検出された高さに基づいて定められる第2の焦点位置より、基板（12）の表面状態に応じて1つの焦点位置を選択する焦点位置切り換え手段（54、55）と、この焦点位置切り換え手段により選択された焦点位置に応じて基板（12）の焦点位置を制御する焦点位置制御手段（16A～16C）と、を備えたものである。

【0009】この場合、例えば図9（a）に示すように、次のショット領域への移動中に基板（12）の外側の領域を通過するときには、基板用焦点位置検出センサ（25）では焦点位置検出ができないため、ステージ用焦点位置検出センサ（43A）により検出された基板ステージの高さに例えば所定のオフセットを加算して定められる第2の焦点位置を用いて、疑似的に合焦制御を行う。これにより、次に基板用焦点位置検出センサ（25）を用いて合焦を行う際のデフォーカス量を少なくできる。

【0010】次に、本発明の第2の露光装置は、例えば図1～図8に示すように、マスク（7）上のパターンの一部の像を感光性の基板（12）上の所定の露光領域（13）に投影する投影光学系（11）と、基板（12）を投影光学系（11）の像面側で移動する基板ステージ（14、15X、15Y、17）とを有し、マスク（7）及び基板（12）を投影光学系（11）に対して同期して走査することにより、マスク（7）のパターンの像を基板（12）上に逐次転写する走査型の露光装置において、基板（12）の投影光学系（11）の光軸方向の焦点位置を検出する基板用焦点位置検出センサ（25）と、その基板ステージの投影光学系（11）の光軸方向の高さを検出するステージ用焦点位置検出センサ（16A）と、基板（12）の表面の設計データとしての段差情報を記憶する記憶手段（55）と、基板用焦点位置検出センサ（25）により検出された第1の焦点位置（ z ）、及びステージ用焦点位置検出センサ（16A）により検出された高さ（ PZ ）に基づいて定められる第2の焦点位置（ z' ）より、記憶手段（55）に記憶されている基板（12）の段差情報に応じて1つの焦点位置を選択する焦点位置切り換え手段（54）と、この焦点位置切り換え手段により選択された焦点位置に応じて基板（12）の焦点位置を制御する焦点位置制御手段（16A～16C）と、を備えたものである。

【0011】即ち、この第2の露光装置は、走査露光方式の投影露光装置であり、例えば図9（c）に示すように、基板（12）上の1つのショット領域中にストリートライン等の溝（68）が形成されている場合、そのショット領域中で常時基板用焦点位置検出センサ（25）を用いて合焦を行うと、その溝（68）の直後に追従精度が悪化する。そこで、その溝（68）を含む領域では、ステージ用焦点位置検出センサ（16A）により検出された高さに例えば所定のオフセットを加算して定め

られる第2の焦点位置に基づいて合焦を行うことにより、その後の追従性が良好となる。

【0012】これらの場合、ステージ用焦点位置検出センサ(43A)により検出された高さ(PZ)、及び所定のモデルに基づいてその第2の焦点位置(z')を予測する演算手段(58)を設けることが望ましい。その所定のモデルとは、例えば基板(12)のショット領域中の段差情報等をいう。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明による投影露光装置の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、光源及びオプティカル・インテグレータ等を含む光源系1からの露光用の照明光ILが、第1リレーレンズ2、レチクルブラインド(可変視野絞り)3、第2リレーレンズ4、ミラー5、及びメインコンデンサレンズ6を介して、均一な照度分布でレチクル7のパターン形成面(下面)のスリット状の照明領域8を照明する。レチクルブラインド3の配置面はレチクル7のパターン形成面とほぼ共役であり、レチクルブラインド3の開口の位置及び形状により、照明領域8の位置及び形状が設定される。

【0014】レチクル7上の照明領域8内のパターンの投影光学系11を介した像が、フォトレジストが塗布されたウエハ12上のスリット状の照野フィールド13内に投影露光される。ここで、投影光学系11の光軸に平行にZ軸を取り、その光軸に垂直な2次元平面内で図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面にY軸を取る。レチクル7はレチクルステージ9上に保持され、レチクルステージ9はレチクルベース10上で走査方向であるX方向に例えばリニアモータにより駆動される。レチクルステージ9上の移動鏡18、及び外部のレーザ干渉計19によりレチクル7のX座標が計測され、このX座標が装置全体の動作を統轄制御する主制御系20に供給され、主制御系20は、レチクルステージ駆動系21及びレチクルステージ9を介してレチクル7の位置及び移動速度の制御を行う。

【0015】一方、ウエハ12は、不図示のウエハホルダを介してZチルトステージ14上に保持され、Zチルトステージ14は3個のZ方向に移動自在なアクチュエータ16A~16Cを介してYステージ15Y上に載置され、Yステージ15Yは、Xステージ15X上に例えば送りねじ方式でY方向に移動されるように載置され、Xステージ15Xは、装置ベース17上に例えば送りねじ方式でX方向に移動されるように載置されている。3個のアクチュエータ16A~16Cを並行に伸縮させることにより、Zチルトステージ14のZ方向の位置(焦点位置)の調整が行われ、3個のアクチュエータ16A~16Cの伸縮量を個別に調整することにより、Zチルト

トステージ14のX軸及びY軸の回りの傾斜角の調整が行われる。本例のアクチュエータ16A~16Cには、後述のように伸縮量を検出するためのエンコーダが備えられている。

【0016】また、Zチルトステージ14の上端に固定されたX軸用の移動鏡22X、及び外部のレーザ干渉計23Xにより、Zチルトステージ14(ウエハ12)のX座標が常時モニタされ、Y軸用の移動鏡22Y(図8参照)及び外部のレーザ干渉計23Yにより、Zチルトステージ14(ウエハ12)のY座標が常時モニタされ、検出されたX座標、Y座標が主制御系20に供給されている。

【0017】ここで、アクチュエータ16A~16C、及びこれらに備えられたエンコーダの構成例につき説明する。図6は、アクチュエータ16Aの断面図であり、この図6において、図1のYステージ15Y上に駆動機構ハウジング40が固定され、駆動機構ハウジング40内に送りねじ41が回転自在に収納され、送りねじ41の左端にカップリング42を介して回転角検出用のロータエンコーダ43Aが接続され、送りねじ46の右端にカップリング44を介してロータリモータ45が接続されている。また、送りねじ41にナット39が螺合され、ナット39に支柱38を介して上端が傾斜した斜面部36Aが固定され、斜面部36Aの上端に回転体36Bが接触している。回転体36Bは、図1のZチルトステージ14内に回転自在に、且つ横方向には移動できないように埋め込まれている。

【0018】また、斜面部36Aは直線ガイド37に沿って送りねじ41に平行な方向に移動できるように支持されている。この場合、図1のウエハステージ制御系24からの駆動速度を示す制御信号がロータリモータ45に供給され、ロータリモータ45は指示された駆動速度(角速度)で送りねじ41を回転する。これにより、ナット39が送りねじ41に沿ってX方向に移動し、斜面部36Aも送りねじ41に沿って移動する。従って、斜面部36Aの上端に接触する回転体36Bは、回転しながら駆動機構ハウジング40に対して上下方向(Z方向)に変位する。また、送りねじ41の回転角速度をロータリエンコーダ43Aにより計測することにより、回転体36Bの上下方向への移動速度が検出される。更に、本例ではロータリエンコーダ43Aから出力されるパルス信号をカウンタ61A(図8参照)で積算することにより、アクチュエータ16AとZチルトステージ14との接点のZ方向の位置(高さ)PZ_iを検出している。

【0019】図8に示すように、他のアクチュエータ16B、16Cもアクチュエータ16Aと同じ構成であり、アクチュエータ16B、16Cにもそれぞれ移動速度検出用のロータリエンコーダ43B、43Cが備えられている。更に、ロータリエンコーダ43B、43Cか

らのパルス信号を積算するカウンタ61B、61Cが設けられ、カウンタ61B、61Cによりそれぞれアクチュエータ16B、16CとZチルトステージ14との接点のZ方向の位置 P_{Z1} 、 P_{Z2} が検出されている。なお、アクチュエータ16A～16Cは、図6のようにロータリーモータを使用する方式の外に、例えばピエゾ素子等を使用して構成してもよい。このようにアクチュエータ16A～16Cとして直線的に変位する駆動素子を使用する場合、Z方向の位置を検出するためのエンコーダとしては光学式又は静電容量式等のリニアエンコーダを使用してもよい。

【0020】図1に戻り、主制御系20は、供給された座標に基づいてウエハステージ駆動系24を介してXステージ15X、Yステージ15Y、及びZチルトステージ14の動作を制御する。例えば走査露光方式で露光を行う場合には、投影光学系11が投影倍率 β （ β は例えば $1/4$ 等）で倒立像を投影するものとして、レチクルステージ9を介してレチクル7を照明領域8に対して+X方向（又は-X方向）に速度 V_x で走査するのと同期して、Xステージ15Xを介してウエハ12が照野フィールド13に対して-X方向（又は+X方向）に速度 V_y （ $=\beta \cdot V_x$ ）で走査される。

【0021】次に、ウエハ12の表面のZ方向の位置（焦点位置）を検出するための多点の焦点位置検出系（以下、「多点AFセンサ」という）25の構成につき説明する。この多点AFセンサ25において、光源26から射出されたフォトレジストに対して非感光性の検出光が、コンデンサーレンズ27を介して送光スリット板28内の多数のスリットを照明し、それらスリットの像が対物レンズ29を介して、投影光学系11の光軸に対して斜めにウエハ12上の照野フィールド13及びこの前後の先読み領域35A、35B（図2参照）の15個の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に投影される。

【0022】図2は、ウエハ12上のそれら計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ の配置を示し、この図2において、スリット状の照野フィールド13に対して+X方向、及び-X方向側にそれぞれ先読み領域35A及び35Bが設定されている。そして、照野フィールド13内に3行×3列の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ が設定され、先読み領域35B内に3個の計測点 $P_{11} \sim P_{13}$ が設定され、先読み領域35A内に3個の計測点 $P_{14} \sim P_{16}$ が設定されている。本例では、照野フィールド13内の9個の計測点での焦点位置の情報から照野フィールド13内での平均的な焦点位置、及び傾斜角を求める。そして、必要に応じて、先読み領域35A（又は35B）内の3個の計測点での焦点位置の情報を使用してウエハ12の表面の段差の補正等を行う。

【0023】図1に戻り、それらの計測点からの反射光が、集光レンズ30を介して振動スリット板31上に集光され、振動スリット板31上にそれら計測点に投影されたスリット像が再結像される。振動スリット板31

は、主制御系20からの駆動信号DSにより駆動される加振器32により所定方向に振動している。振動スリット板31の多数のスリットを通過した光が光電検出器33上の多数の光電変換素子によりそれぞれ光電変換され、これら光電変換信号が信号処理系34に供給される。

【0024】図3は、図1中の送光スリット板28を示し、この図3において、送光スリット板28には図2のウエハ上の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に対応する位置にそれぞれスリット28₁₁～28₁₅が形成されている。また、図1中の振動スリット板31上にも、図4に示すように図2のウエハ上の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に対応する位置にそれぞれスリット31₁₁～31₁₅が形成され、振動スリット板31は加振器32により各スリットの長手方向に直交する計測方向に振動している。

【0025】次に、図5は、図1中の光電検出器33、及び信号処理系34を示し、この図5において、光電検出器33上の1行目の光電変換素子33₁₁～33₁₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射し、2行目～4行目の光電変換素子33₂₁～33₂₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射し、5行目の光電変換素子33₃₁～33₃₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射する。そして、光電変換素子33₁₁～33₁₅からの検出信号は、増幅器46₁₁～46₁₅を介して同期整流器47₁₁～47₁₅に供給される。同期整流器47₁₁～47₁₅はそれぞれ加振器32用の駆動信号DSを用いて入力された検出信号を同期整流することにより、対応する計測点の焦点位置に所定範囲でほぼ比例して変化するフォーカス信号を生成する。本例では、同期整流器47₁₁～47₁₅から出力されるフォーカス信号は、それぞれ図1において、例えばレチクル7が走査方向の中央に静止した状態で、対応する計測点が投影光学系11の結像面（ベストフォーカス面）に合致しているときに0になるようにキャリブレーションが行われている。

【0026】同期整流器47₁₁～47₁₅から出力されるフォーカス信号は、並列にマルチプレクサ48に供給され、マルチプレクサ48は、主制御系20内のマイクロプロセッサ（MPU）50からの切り換え信号に同期して、供給されるフォーカス信号から順番に選ばれたフォーカス信号をアナログ／デジタル（A/D）変換器49に供給し、A/D変換器49から出力されるデジタルのフォーカス信号が順次主制御系20内のメモリ51内に格納される。

【0027】図8は、図1の3個のアクチュエータ16A～16Cの駆動系を示し、この図8の主制御系20に

において、メモリ51の各アドレス51_n～51_m内にそれぞれ図2の照野フィールド13内の計測点P₂₁～P₄₈での焦点位置を示すデジタルのフォーカス信号が格納されている。なお、これらのフォーカス信号は、所定のサンプリング周期で逐次書き換えられているものである。アドレス51_n～51_mから読み出されたフォーカス信号は並列に最小自乗法計算部52に供給される。最小自乗法計算部52では、その照野フィールド13内の9個の計測点P₂₁～P₄₈に対応する9個のフォーカス信号に基づいて、最小自乗法的にその照野フィールド13の表面に合致する平面を決定し、この決定された平面の中心での焦点位置（Z座標）z、Y軸の回りでの傾斜角θ_x、及びX軸の回りでの傾斜角θ_yを求める。これらの傾斜角θ_x、傾斜角θ_y、及び焦点位置zはマルチプレクサ53の一方の入力部に供給される。

【0028】また、カウンタ61A～61Cから出力される対応するアクチュエータ16A～16CのZ方向の位置PZ₁、PZ₂、PZ₃が、主制御系20内のステージ位置計算部57に供給され、このステージ位置計算部57には、レーザ干渉計23X及び23Yで計測されているZチルトステージ14（ウエハ12）のX座標、及びY座標も供給されている。この場合、ステージ位置計算部57では、まず投影光学系11の光軸を原点としてX座標、及びY座標を表した座標系における、3個のアクチュエータ16A、16C、16Dの座標（X₁、Y₁）、（X₂、Y₂）、（X₃、Y₃）を算出する。

【0029】図7は、投影光学系11の光軸AXを原点（0、0）とした座標系を示し、この図7において、直線63は3個のアクチュエータ16A～16CとZチルトステージ14との接点を含む平面と、原点及びX軸を通りX軸に垂直な平面との交線、案内面62はXステージ15X及びYステージ15Yが移動する際の案内面（走り面）を示す。同様に、直線64は3個のアクチュエータ16A～16CとZチルトステージ14との接点を含む平面と、原点及びY軸を通りY軸に垂直な平面との交線であり、直線63が案内面62に対してなす角度θ_x、及び直線64が案内面62に対してなす角度θ_yは、それぞれZチルトステージ14の底面の案内面62に対する傾斜角を表すとみなされる。また、Zチルトステージ14の底面の光軸AX、即ち原点での案内面62に対する焦点位置をPZとすると、焦点位置PZは直線63及び64の原点での焦点位置となる。なお、図7において、直線63及び64と案内面62との間にZ方向の位置PZ₁、PZ₂、PZ₃が示されているが、これらは実際の値ではなくそれぞれX軸及びY軸上での値に換算したものである。また、Z方向の位置PZ₁、PZ₂、PZ₃は、案内面62を基準としてキャリブレーションされており、最小自乗法演算部52で算出される平面の焦点位置z、及び傾斜角θ_x、θ_yも案内面62を基準としてキャリブレーションされている。

【0030】このとき、図8のステージ位置計算部57では、3個のアクチュエータ16A～16Dの座標（X₁、Y₁）～（X₃、Y₃）、及びZ方向の位置PZ₁～PZ₃を次式に代入して、Zチルトステージ14の底面の傾斜角θ_x、θ_y、及び焦点位置PZを算出する。

【0031】

【数1】

$$\begin{bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ PZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} PZ_1 \\ PZ_2 \\ PZ_3 \end{bmatrix}$$

【0032】図8に戻り、算出された傾斜角θ_x、θ_y、及び焦点位置PZは、ウエハモデル部58に供給される。ウエハモデル部58には、Zチルトステージ14のX座標、及びY座標の情報も供給され、ウエハモデル部58では、供給されたZチルトステージ14の底面の傾斜角θ_x、θ_y、及び焦点位置PZと、現在のZチルトステージ14（ウエハ12）の座標（X、Y）とから、予め設定されているウエハのモデルに基づいてウエハ12の仮想的な表面のY軸の回りの傾斜角θ_x'、X軸の回りの傾斜角θ_y'、及び焦点位置z'を求める。これらのウエハの仮想的な表面の傾斜角θ_x'、θ_y'、及び焦点位置z'はマルチプレクサ53の他方の入力部に供給される。

【0033】即ち、本例ではマルチプレクサ53に対して、ウエハ12の表面の実際に計測された傾斜角及び焦点位置と、ウエハ12の仮想的な表面の傾斜角、及び焦点位置とが供給されている。従って、本例ではウエハ12の表面の実際の計測値に基づいた直接制御と、ウエハ12の仮想的な表面の状態に基づいたモデル追従制御とを切り換えながら合焦及びレベリングの制御が行われる。それら2つの制御方式の切り換えのタイミングは、オペレータが入出力装置60を介して主制御系20内の制御部55に指示する。この指示は、例えばZチルトステージ14の座標（X、Y）の区分に応じてどの制御方式を使用するかを示す形式で行われ、その指示は焦点位置切り換え判定部54に送られる。

【0034】焦点位置切り換え判定部54には、Zチルトステージ14のX座標及びY座標も供給され、焦点位置切り換え判定部54は、供給された座標に応じて制御方式の切り換えを指示する制御信号をマルチプレクサ53に供給する。マルチプレクサ53では、ウエハ12の表面の実際の計測値に基づいた直接制御を行うときには、傾斜角θ_x、θ_y、及び焦点位置zを選択してそれぞれ減算部56A、56B及び56Cに供給し、ウエハ12の仮想的な表面の状態に基づいたモデル追従制御を行うときには、傾斜角θ_x'、θ_y'、及び焦点位置z'を選択してそれぞれ減算部56A、56B及び56Cに供給する。

【0035】また、予め例えばテストプリント等によつ

て、ウエハ側のステージの案内面62（図7参照）を基準として、Zチルトステージ14の座標が所定の基準点（ X_0 , Y_0 ）にあるときの投影光学系11の結像面のX軸の回りの傾斜角 θ_{x0} 、Y軸の回りの傾斜角 θ_{y0} 、及びZ方向の位置（合焦位置） z_0 が求められて、制御部55内の記憶部に記憶されている。そこで、Zチルトステージ14の座標が任意の座標（ X , Y ）に移動したときには、制御部55は、案内面62を基準としたその結像面の傾斜角 θ_x 、 θ_y 及び合焦位置 z を次の近似式から算出する。

【0036】

【数2】 $\theta_x = \theta_{x0}$,

$\theta_y = \theta_{y0}$,

$z = (X - X_0) \theta_{x0} + (Y - Y_0) \theta_{y0} + z_0$

その結像面の傾斜角 θ_x 、 θ_y 、及び合焦位置 z がそれぞれ目標値として減算部56A、56B及び56Cに供給され、減算部56A、56B及び56Cから目標位置／速度変換部59に対してそれぞれ、目標値に対する傾斜角の偏差 $\Delta\theta_x$ 、 $\Delta\theta_y$ 、及び焦点位置の偏差 Δz *

$$\begin{bmatrix} VZ_1 \\ VZ_2 \\ VZ_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K\theta_x & 0 & 0 \\ 0 & K\theta_y & 0 \\ 0 & 0 & Kz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_x \\ \Delta\theta_y \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

【0039】これらの速度指令値 $VZ_1 \sim VZ_3$ は、ウエハステージ制御系24に供給され、ウエハステージ制御系24では、各アクチュエータの先端部がそれぞれ速度指令値 VZ_1 、 VZ_2 、 VZ_3 で移動するように、速度サーボ制御方式でアクチュエータ16A、16B、16Cを駆動する。これによりウエハ12の照野フィールド13内の表面の合焦及びレベリングの制御が行われる。

【0040】この制御の結果、アクチュエータ16A～16Cによって駆動されたZチルトステージ14の底面の3箇所のZ方向の位置 PZ_1 、 PZ_2 、 PZ_3 が変化し、それら3箇所のZ方向の位置から、ステージ位置計算部57、及びウエハモデル部58により、ウエハの仮想的な表面の傾斜角及び焦点位置が求められる。これと並行して、駆動後のウエハ12の表面の傾斜角等が、図1の多点AFセンサ25及び図8の最小自乗法計算部52等により計測され、この計測結果又は仮想的な表面の傾斜角等と目標値との偏差が目標位置／速度変換部59にフィードバックされる。これによってオートフォーカス、及びオートレベリングが行われる。

【0041】ここで、図1及び図8に示される本例の投影露光装置の制御機構を簡略化して表示すると、図12に示すようになる。この図12において、ウエハ12はウエハステージ65上に保持され、ウエハ12の表面の傾斜角、及び焦点位置がセンサ74により計測され、計測値が切り換え部75の一方の入力部に供給されている。また、ウエハステージ65内の所定の部材の所定の

* が供給される。例えば傾斜角の偏差 $\Delta\theta_x$ は、 $(\theta_{x0} - \theta_x)$ 又は $(\theta_{x0} - \theta'_x)$ である。また、Zチルトステージ14（ウエハ12）のX座標、及びY座標も目標位置／速度変換部59に供給され、目標位置／速度変換部59では、まず、供給されたZチルトステージ14のX座標、Y座標より、投影光学系11の光軸を原点とした場合の3個のアクチュエータ16A、16B、16Cのそれぞれの座標 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 (X_3, Y_3) を算出する。

10 【0037】また、予め傾斜角の偏差 $\Delta\theta_x$ 、 $\Delta\theta_y$ 、及び焦点位置の偏差 Δz のそれぞれの位置制御系のループゲイン $K\theta_x$ 、 $K\theta_y$ 、及び Kz が記憶されており、目標位置／速度変換部59では、例えばウエハ12の位置が所定量変化する毎に、又は所定の時間間隔で、次式から3個のアクチュエータ16A、16B、16Cへのそれぞれの速度指令値 VZ_1 、 VZ_2 、 VZ_3 を算出する。

【0038】

【数3】

※基準面に対する傾斜角、及び高さがセンサ76により計測され、計測値がウエハモデル部77を介してウエハ12の仮想的な表面の傾斜角、及び焦点位置の推定値となり、この推定値が切り換え部75の他方の入力部に供給され、切り換え部75では外部からの切り替え指令に応じて選択した計測値、又は推定値を減算部78に供給する。

30 【0042】そして、減算部78では、外部から供給される目標値からその計測値、又は推定値を差し引いて得られる偏差を制御系79に供給し、制御系79ではその偏差が0になるようにウエハステージ65の傾斜角及び高さを制御するようになっている。次に、本例でウエハ12の表面の実際の計測値に基づいた直接制御と、ウエハ12の仮想的な表面の状態に基づいたモデル追従制御とを切り換えながら合焦及びレベリングの制御を行う場合の具体例につき説明する。

40 【0043】基本的に、それら2つの制御の切り換えがなされるのは主に次の3つの場合である。図1の多点AFセンサ25の検出領域がウエハの表面内から外に出る場合。フ多点AFセンサ25の検出領域がウエハの表面外から内部に入る場合。ウエハの表面に溝状の合焦又はレベリングの制御に不適当な領域が存在する場合。以下、それぞれの場合について説明を行うことにする。

【0044】まず、図9(a)に示すように、ウエハのステップ移動あるいは走査に伴い、多点AFセンサ25の検出領域である照野フィールド13がウエハ12

の表面の外側から内側へ変化する場合を扱う。以下ではウエハ12が載置されているステージ系（Zチルトステージ14、Yステージ15Y、及びXステージ15X等）をウエハステージ65で表している。このとき、ウエハステージ65の先端が領域66Eにあるときには、多点AFセンサ25の検出領域はウエハ12の表面外にあるため、図8のマルチプレクサ53ではウエハモデル部58からの仮想的な表面の傾斜角 θ_x' 、 θ_y' 及び焦点位置 z' を選択する。

【0045】また、図8のウエハモデル部58では、Zチルトステージ14の底面のZ方向の位置PZにZチルトステージ14の厚さ、不図示のウエハホルダの厚さ及びウエハ12の厚さを加算して焦点位置 z' を求め、Zチルトステージ14の底面の傾斜角 θ_x 、 θ_y をそのまま傾斜角 θ_x' 、 θ_y' としている。その結果、ウエハ12の表面がその仮想的な表面に合致するように合焦及びレベリングの制御が行われる。そして、アクチュエータ16A～16Cに駆動された後のZチルトステージ14の底面の3箇所の位置PZ₁～PZ₃から、ステージ位置計算部57及びウエハモデル部58によってウエハ12の仮想的な表面の傾斜角 θ_x' 、 θ_y' 及び焦点位置 z' が更新され、この更新後の値と目標値との偏差が新たなサーボ偏差として目標位置／速度変換部59に与えられ、所謂閉ループの位置サーボ制御が行われる。

【0046】その後、図9（a）においてウエハステージ65が更に移動して領域66Aに入ったことが、図8の焦点位置切り換え判定部54によって判定されると、マルチプレクサ53は最小自乗法計算部52からの傾斜角 θ_x 、 θ_y 、及び焦点位置 z を選択するように切り換えられる。これは、位置Q1で示すように、多点AFセンサ25の検出領域（照野フィールド13）の全部がウエハ12上に移動して、実際の計測値が有効となるからである。そして、Zチルトステージ14は、ウエハ12の実際の表面の傾斜角 θ_x 、 θ_y 、及び焦点位置 z がそれぞれ目標値 θ_m 、 θ_n 、及び z_s に合致するようにサーボ制御される。この切り換えの際に、仮想的な表面を用いた制御によって、ウエハ12の表面の焦点位置はほぼ目標値付近にあるため、制御方式を切り換えてからウエハ12の表面が目標値、即ち結像面に対して所定の許容範囲内で合致するまでの引き込み時間（整定時間）が従来例に比べて短縮されている。

【0047】次に、図9（b）に示すように、ウエハ12のステップ移動あるいは走査により、多点AFセンサ25の検出領域（照野フィールド13）がウエハ12の表面内から外側へと移動する場合を扱う。この場合、ウエハステージ65の先端が領域67Aにあるときには、図8のマルチプレクサ53は最小自乗法計算部52からの傾斜角 θ_x 、 θ_y 、及び焦点位置 z を選択するように切り換えられ、実際のウエハ12の表面が結像面に合致するようにサーボ制御される。その後、ウエハス

テージ65の先端が領域67Eに入ったことが焦点位置切り換え判定部54により判定されると、マルチプレクサ53はウエハモデル部58側に切り換えられ、ウエハモデルによる仮想的な表面が結像面に合致するようにサーボ制御される。これは位置Q2で示すように、多点AFセンサ25の検出領域がウエハ12の外側に位置すると、多点AFセンサ25の検出値が大きく変動してしまうからである。

【0048】また、図9（c）に示すように、ウエハ12の表面に合焦及びレベリング制御に不適当な溝状の領域68がある場合の制御方法につき説明する。そのような溝状の領域68の一例は、隣接するショット領域間のストリートラインであるが、例えば走査露光方式の投影露光装置で1つのショット領域から複数のチップを切り出すような場合には、1つのショット領域内の走査方向の途中にその溝状の領域68が存在することがある。図9（c）では、ウエハ12上の1つのショット領域内に溝状の領域68が存在し、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行うものとして、走査方向を図9（c）の紙面に沿った方向（左右方向）とする。

【0049】この場合、ウエハステージ65を矢印で示すように左方向に走査して露光を行うものとする、溝状の領域68が領域69A2にあるときには、図8のマルチプレクサ53は最小自乗法計算部52側に切り換えられており、多点AFセンサ25の計測値に基づいて合焦及びレベリング制御が行われる。その後、溝状の領域68が領域69Eに入って多点AFセンサ25の検出領域（照野フィールド13）が溝状の領域68にかかる、焦点位置切り換え判定部52が判定したときには、マルチプレクサ53はウエハモデル部58側に切り換えられて、仮想的な表面を結像面に合致させるように制御が行われる。これは位置Q3で示すように、多点AFセンサ25により計測される焦点位置は低くなるため、領域69Eで多点AFセンサ25の計測値を使用して合焦制御を行うと一時的にウエハ12の焦点位置が高くなって、その後の引き込み時間が長くなってしまいうからである。また、その仮想的な表面としては、その溝状の領域68が無い場合の平坦な表面が設定される。

【0050】次に、走査露光が進んで溝状の領域68が領域69A1に達して、多点AFセンサ25の検出領域が溝状の領域68にかからなくなったと判定されたときに、マルチプレクサ53は再度最小自乗法計算部52側に切り換えられて、多点AFセンサ25の計測値に基づいて合焦及びレベリング制御が行われる。このように切り換えを行うことにより、溝状の領域68を過ぎた直後での引き込み時間（整定時間）が短縮され、結果として例えば走査速度を高めることにより、露光工程のスループットを向上できるようになる。

【0051】なお、上述の実施の形態では、図8の焦点位置切り換え判定部54における切り替え判定は、予め

入出力装置60を介してウエハ12の位置の情報として与えられたデータと、レーザ干渉計23X、23Yにより計測されるZチルトステージ14（ウエハ12）の現在の座標位置とを比較することでなされているが、図10に示すように、判定用のセンサを使用してもよい。

【0052】図10は、多点AFセンサ25とは別に走査方向の先行する検出領域70の焦点位置を検出するAFセンサ71を設けた例を示し、この図10において、多点AFセンサ25の検出領域の中心とAFセンサ71の検出領域70の中心とは、図10の紙面に平行な方向に間隔dだけ離れている。そして、例えばウエハステージ65を走査速度 V_z で左方向に走査して露光を行う際に、AFセンサ71で検出される焦点位置が検出範囲外から正常な範囲に復帰したような場合には、それから時間 d/V_z が経過した後に図8のマルチプレクサ53を最小自乗法計算部52側を選択するように切り換える。これにより、予め切り換え範囲を定めておくことなく、制御方式の切り換えを正確に行うことができる。

【0053】更に、本例では図2に示すように先読み領域35A、35Bが設けられているため、図2の先読み領域35Aを図10の検出領域70としてもよい。この場合、AFセンサ71は図1の多点AFセンサ25で兼用できる利点もある。また、ウエハの表面は実際には平面ではなく、通常例えば中心に対してほぼ軸対称に凸状、又は凹状等に緩やかに変形している。そこで、このようなウエハの変形に対応するために、本例の図8のウエハモデル部58ではウエハ12のX方向及びY方向への移動に伴ってアダプティブに（適応的に）ウエハモデルを修正していく方法を採用している。これは多点AFセンサ25の計測結果を使用して合焦及びレベリングの制御を行っているときに、逐次ウエハモデルを修正していくことで行われる。

【0054】図11は、表面が変形したウエハをウエハステージ65で左方向に移動する場合を示し、先ず図11(a)に示すように、ウエハステージ65のX座標が X_1 の場合には、多点AFセンサ25で計測される照野フィールド13内での近似平面、即ちほぼ照野フィールド13の中心でウエハ12に接する平面がウエハモデルとなる。また、図11(b)に示すように、ウエハステージ65のX座標が X_2 となった場合には、その状態で多点AFセンサ25により計測される照野フィールド13内での近似平面がウエハモデルとなる。そして、図8のマルチプレクサ53がウエハモデル部58側に切り換わる際には、その直前に多点AFセンサ25により計測された近似平面がウエハモデルとして使用される。これにより、ウエハが変形していても、制御方式を切り換えた際の引き込み時間が短縮される。

【0055】なお、図2においては、傾斜角、及び焦点位置検出用の計測点 $P_{11} \sim P_{33}$ が照野フィールド13内に分布しているが、それら計測点 $P_{11} \sim P_{33}$ は照野フィ

ールド13からはみ出しているもよい。また、全体の計測点 $P_{11} \sim P_{33}$ の個数、及び配列は図2に限定されず、例えば計測点をX方向に段違いに配置してもよい。更に、上述の実施の形態では、ウエハ12上の照野フィールド13の傾斜角を検出するために多点AFセンサ25が使用されているが、多点AFセンサの代わりに計測点が1点のAFセンサを使用して、傾斜角検出用に例えばウエハ12の表面に平行光束を斜めに照射し、その反射光の集光位置の横ずれ量からその表面の傾斜角を検出する平行光束斜入射方式のレベリングセンサを使用してもよい。

【0056】また、本発明は一括露光方式の投影露光装置（ステッパー等）にも適用できる。このように一括露光方式の投影露光装置に本発明を適用した場合でも、図10の例と同様に、本来のAFセンサとは別に先行する検出領域の焦点位置を検出する補助AFセンサを配置し、例えばステッピング移動中等にその補助AFセンサの計測値を使用して制御方式の切り換えを行うようにしてもよい。

【0057】このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0058】

【発明の効果】本発明の第1の露光装置によれば、基板（ウエハ等）の表面の本来合焦の制御対象とされない領域で且つ凹凸が存在する領域、又は基板の外部の領域では、ステージ用焦点位置検出センサ（エンコーダ等）により検出された高さに基づいて基板の焦点位置を制御しているため、その後で基板用焦点位置検出センサを使用して合焦（オートフォーカス）制御を開始する際の焦点位置の目標値からの偏差量が少なくなる。従って、その後で引き込みが完了するまでの引き込み時間（整定時間）を短縮でき、露光工程のスループットを高めることができる利点がある。

【0059】また、本発明の第2の露光装置によれば、走査露光方式で基板上の1つのショット領域上に露光を行う際に、そのショット領域中にチップ境界（ストリートライン）等の溝が存在するときには、その溝の領域ではステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さに基づいて基板の焦点位置を制御することにより、その後で基板用焦点位置検出センサを使用して合焦制御を開始する際の引き込み時間（整定時間）を短縮できる利点がある。

【0060】また、そのステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さ、及び所定のモデルに基づいて第2の焦点位置を予測する演算手段を設けた場合には、例えば基板の表面が変形しているような場合でも、ステージ用焦点位置検出センサにより検出された高さに基づいて基板の焦点位置をほぼ正確に制御できるため、その後で基板用焦点位置検出センサを使用して合焦制御を開始

する際の引き込み時間をより短縮できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態の一例としてのステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示す構成図である。

【図 2】図 1 のウエハ 12 上の焦点位置の計測点の分布を示す平面図である。

【図 3】図 1 中の送光スリット板 28 を示す図である。

【図 4】図 1 中の振動スリット板 31 を示す図である。

【図 5】図 1 中の光電検出器 33、及び信号処理系 34 を示す構成図である。

【図 6】図 1 中のアクチュエータ 16A、及びロータリエンコーダ 43A の構成例を示す一部を断面とした構成図である。

【図 7】3 個のアクチュエータ 16A～16C の先端で決定される平面の傾斜角及び高さの説明に供する図である。

【図 8】図 1 中のウエハ 12 の合焦及びレベリング機構、並びにその制御系を示す一部斜視図を含む構成図である。

【図 9】(a) は多点 AF センサ 25 の検出領域がウエハ 12 の外部の領域からウエハ 12 上に入る状態を示す概念図、(b) は多点 AF センサ 25 の検出領域がウエハ 12 上の領域からウエハ 12 の外部に出る状態を示す概念図、(c) はウエハ 12 の表面の一部が溝状になっている場合を示す概念図である。

【図 10】多点 AF センサ 25 の他にウエハ上の凹凸を *

* 予め検出するための AF センサを設けた場合の要部の構成図である。

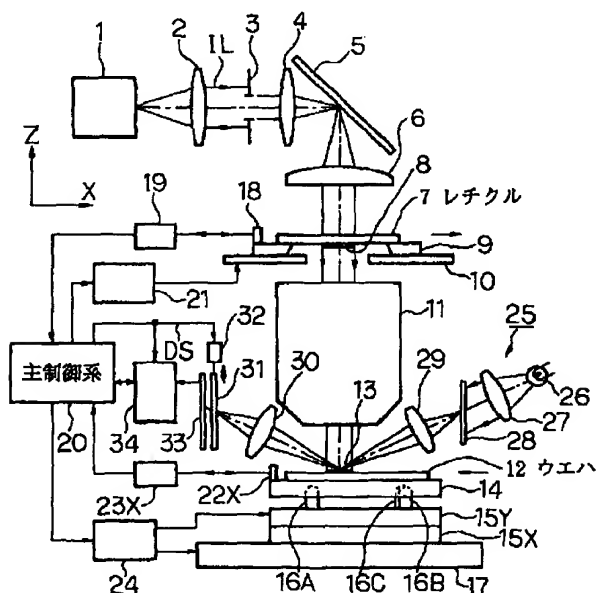
【図 11】ウエハの表面が変形している場合のウエハモデルの決定方法の一例の説明図である。

【図 12】図 1 及び図 8 で示される投影露光装置を簡略化して示すブロック図である。

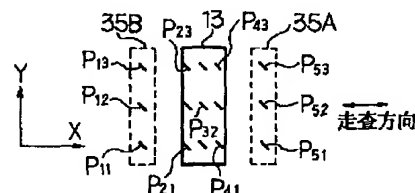
【符号の説明】

- 7 レチクル
- 9 レチクルステージ
- 11 投影光学系
- 12 ウエハ
- 13 照野フィールド
- 14 Z チルトステージ
- 15Y Y ステージ
- 15X X ステージ
- 16A～16C アクチュエータ
- 19, 23X, 23Y レーザ干渉計
- 20 主制御系
- 25 多点 AF センサ
- 20 $P_{11} \sim P_{53}$ 計測点
- 33 光電検出器
- 34 信号処理系
- 43A～43C ロータリエンコーダ
- 52 最小自乗法計算部
- 53 マルチプレクサ
- 54 焦点位置切り換え判定部
- 59 目標位置/速度変換部

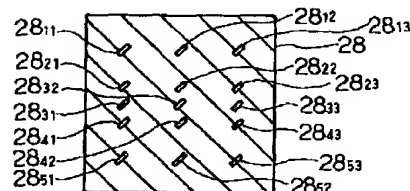
【図 1】



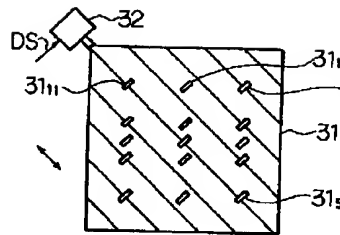
【図 2】



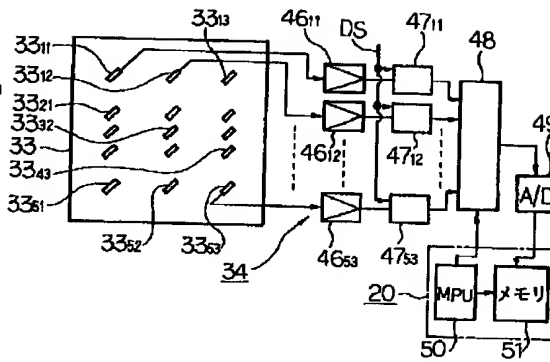
【図 3】



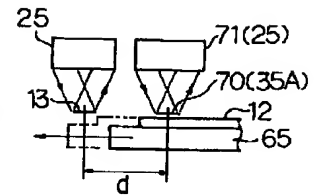
【図4】



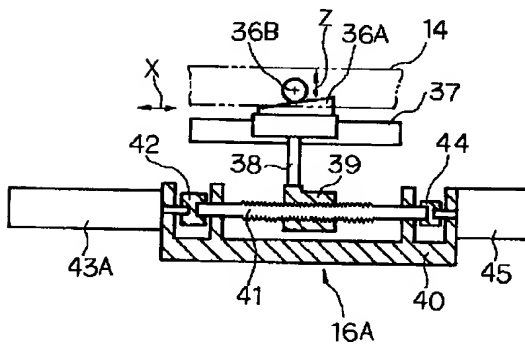
【図5】



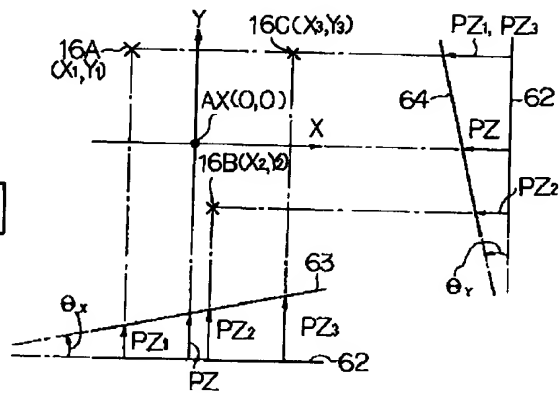
【図10】



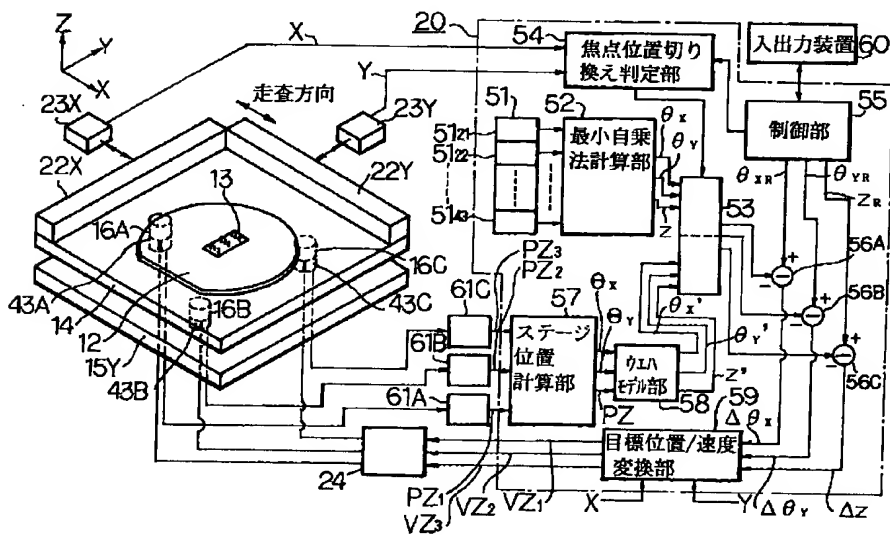
【図6】



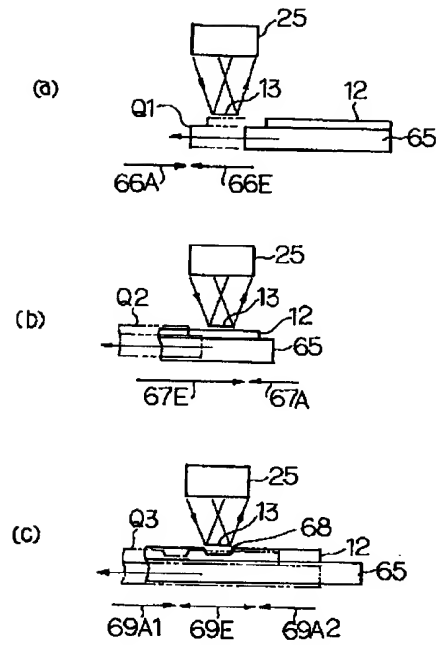
【図7】



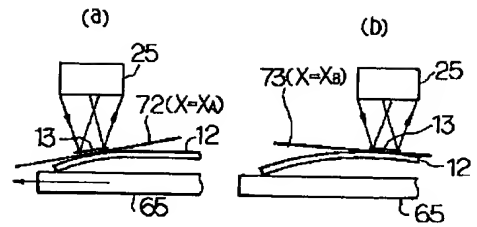
【図8】



【図 9】



【図 11】



【図 12】

